ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01823v1

环境温湿度对肉鸡营养物质代谢的影响及调控机制

陆　壮　何晓芳　张　林　李蛟龙　高　峰* 周光宏

(南京农业大学动物科技学院，江苏省动物源食品生产与安全保障重点实验室，江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心，南京 210095)

摘　要：温热环境是影响家禽生产的一个重要因素。肉鸡对温度的影响十分敏感，而湿度又常与温度共同作用影响肉鸡的体温调节。本文综述了环境温湿度对肉鸡生长性能、神经内分泌机能以及糖、脂类、蛋白质和矿物质代谢的影响及调控机制，以期为肉鸡温热环境控制提供理论依据。

关键词：温度；湿度；肉鸡；营养物质代谢；影响；调控机制

中图分类号：S831

随着家禽的高度集约化生产和对高生长性能基因的筛选，家禽对外部环境因素的影响越来越敏感。温热环境是影响家禽生产的一个重要因素，它由空气的温度、湿度、气流（风）速度和太阳辐射等因子综合而成。而肉鸡对温度十分敏感，通常来说肉鸡的温度适宜范围为16~26 ℃[1]，温度过高或过低都会对肉鸡造成应激。温度超过 32 ℃时，鸡只很难通过自身调整控制体温，易造成热应激[2]。而肉鸡在温度突然大幅度下降（10 ℃以上）或长期处于低温（4 ℃以下）环境时则会引起冷应激[3]。空气湿度与环境温度关系密切，共同影响家禽的体热调节[4]。一般认为肉鸡的最适空气相对湿度（relative humidity，RH）为 60%～65%[5]。在适宜温度条件下，空气湿度对鸡体的热调节无影响。在高温条件下，鸡的主要散热方式为呼吸蒸发[6]，高湿能够显著抑制肉鸡的散热，并造成更严重的应激反应；低湿虽然有利于家禽散热，但湿度过低易造成家禽脱水。而在低温条件下，高湿会增大空气的容热量，使鸡只感到更加寒冷，并会增加呼吸道疾病感染的可能性。目前，有关环境温湿度对肉鸡营养物质代谢的影响及调控机制的研究已经取得较大进展，本文主要综述了环境温湿度对肉鸡生长性

收稿日期：2017-02-24

基金项目：国家重点研发计划课题（2016YFD0500501）

作者简介：陆　壮（1988—），男，辽宁锦州人，博士研究生，研究方向为动物营养生理调控。E-mail: luzhuang0416@163.com

*通信作者：高　峰，教授，博士生导师，E-mail: gaofeng0629@sina.com

能、神经内分泌机能以及糖、脂类、蛋白质和矿物质代谢的影响及调控机制，以期为肉鸡温热环境控制提供理论依据。

1 环境温湿度对肉鸡生长性能的影响

采食量急剧下降（最多可达 50%）是热应激的一个重要标志，同时也被认为是热应激损伤动物机体和影响生长性能的最主要原因[7]。由于采食量的大幅度下降，肉鸡在高温条件下通常会表现出生长速度慢、饲料转化率低等现象[8]。研究发现，持续 35 ℃高温环境显著降低了肉鸡的采食量（–16.4%）和体增重（–32.6%）[9]。也有研究指出，循环热应激（24 ℃到 37 ℃）虽然降低了肉鸡的采食量和体增重，但提高了饲料转化率[10]。这可能是由于应激模式的不同所导致的。研究显示，高温高湿（31 ℃，RH 为 85%）较单纯高温（31 ℃，RH 为 60%）肉鸡有更高的体温和更低的日采食量及日增重[11]，表明高湿抑制了肉鸡的散热并加重了高温对肉鸡生长性能的影响。而低温对肉鸡生长性能影响的报道不尽相同，一般认为低温环境可以提高肉鸡的采食量，降低饲料转化率[12]；但也有研究认为适当低温环境刺激有提高肉鸡生长性能的效果。Nguyen 等[13]研究指出，出壳后 1 周的肉鸡接受温和的冷刺激会提高其饲料转化率和体增重。此外，冷应激也被认为与肉鸡腹水症的发生有密切关系，进而影响肉鸡的死亡率。

2 环境温湿度对肉鸡神经内分泌机能的影响

应激主要是体内平衡的破坏与再修复的过程，这一过程主要依赖于下丘脑-垂体-肾上腺皮质反应轴（hypothalamic-pituitary-adrenal，HPA）和交感神经系统（sympathetic-adrenal medullar，SAM）的激活，促进内分泌腺体分泌相关激素而发挥重要作用。高温可通过激活家禽的 HPA 轴引起血浆皮质酮（corticosterone，CORT）浓度升高[14]，而 CORT 又与胰岛素（insulin，INS）的作用紧密相关，机体糖皮质激素浓度的升高会诱发 INS 抵抗，发生高 INS 血症[15]。高温也可以激活 SAM 轴，引起血液肾上腺素、去甲肾上腺素等儿茶酚胺的浓度升高。高温环境还可以改变甲状腺素（thyroxine，T_4）的合成与分泌，研究表明，高温条件下肉鸡血液三碘甲状腺原氨酸（triiodothyronine，T_3）浓度显著降低，但对于 T_4 浓度变化的研究结果不尽一致[16]。也有报道指出热应激造成肉鸡胰岛素样生长因子–1（insulin-like growth factors-1，IGF-1）浓度下降[17]。而在低温环境下，最主要的激素变化是作为产热调节的重要激素 T_3 浓度显著升高[18]。此外，报道指出低温刺激也会使家禽血液 CORT 浓度升高，而

chinaXiv:201711.01823v1

血液 INS 浓度随着冷应激时间的延长而先升高后逐渐下降[19]。也有研究认为冷应激可同时升高血液 INS 和胰高血糖素浓度[20]。湿度对肉鸡神经内分泌机能影响的研究相对较少，顾宪红等[21]的研究指出，高温条件下不同湿度对肉仔鸡血液 T_3 和 INS 浓度无显著影响。

3 环境温湿度对肉鸡营养物质代谢的影响及调控机制

在不同温湿度条件下，神经内分泌机能的改变会引起肉鸡的糖、脂类、蛋白质和矿物质代谢的改变。在应激条件下，机体对能量的需要量增加，营养物质发生再分配，由主要流向生产（生长）变为生存。总体上看，在高温环境中，肉鸡的脂肪合成增加，脂类分解减少，氨基酸分解增强，进而造成蛋白质沉积下降而脂肪沉积增加的状况。在低温环境中，动物主要的代谢调整是通过提高分解代谢增加机体对能量物质的代谢，以产热维持体温。而湿度通常作为温度的辅助因素，加强温度对营养物质代谢的影响。

3.1 环境温湿度对肉鸡糖代谢的影响及调控机制

葡萄糖作为机体的主要供能物质，在维持正常生产和生命机能方面有重要的作用，应激状态下肌肉糖代谢的紊乱常被视为应激影响肉鸡肌肉生长发育和肉品质的主要原因[22]。家禽的血浆 INS 浓度与哺乳动物相近，但血浆葡萄糖浓度显著高于哺乳动物[23]，提示家禽本身对 INS 不敏感，相关信号通路具有特殊性。在热应激条件下，家禽 CORT 大量释放，INS 分泌增加，二者共同对机体的糖代谢起到重要的调控作用[24]。研究表明，虽然肉鸡缺乏葡萄糖转运蛋白 4（*GLUT*4）的同源基因，但 INS 依然能够促进骨骼肌葡萄糖的跨膜转运，研究认为这可能是通过 INS 信号通路提高葡萄糖转运蛋白 1（*GLUT*1）的表达来实现的[25]。而 CORT 在糖代谢调控中可降低 INS 的敏感性，抑制 INS 对葡萄糖吸收的促进作用，减少葡萄糖摄取率和糖原合成率[26]。小鼠成肌细胞试验显示其调节机理可能为 CORT 降低了 INS 受体下游蛋白磷脂酰肌醇–3–激酶（phosphoinositide 3-kinase，PI3K）的激活[27]。但有研究认为，PI3K 通路并不是禽类 INS 信号传递的主要通路，丝裂原活化蛋白激酶（mitogen activated protein kinase，MAPK）信号联级反应激活的细胞外调节蛋白激酶（ERK1/2）通路则被认为可能是禽类 INS 作用的主要途径，因此 CORT 影响 INS 敏感性的具体作用机制还有待进一步研究[22]。此外，报道指出，在高温条件下，肉鸡肌肉糖的无氧酵解增加，使得肌肉中乳酸浓度升高[28]；高温条件 RH 高于 65%会提高肉鸡的维持需要，进而增加机体对糖的消耗[29]。而在低温环境下，肉鸡糖原分解增加[30]，血液葡萄糖浓度显著升高，葡萄糖

chinaXiv:201711.01823v1

chinaXiv:201711.01823v1

氧化水平提高，表明机体消耗了更多的糖维持体温[31]；也有研究认为低温环境下血液葡萄糖浓度先升高后降低，这可能与冷应激的强度和动物品种差异有关[20]。

3. 2　环境温湿度对肉鸡脂类代谢的影响及调控机制

热应激条件下肉鸡的脂类代谢被认为是一个生物学悖论。由于采食量大幅度下降和维持需要的增加，在高温条件下机体通常会出现能量供应不足的情况。而在热应激条件下，动物不能跟在适温条件下一样充分调动体脂肪为机体补充能量，相反，研究指出高温环境会增加肉鸡的脂肪沉积量[32]。鸡的脂肪合成与人类相似，与啮齿类动物不同，其脂肪合成过程几乎全部在肝脏中进行，因此脂肪沉积的一个重要途径就是肝脏以极低密度脂蛋白的形式输送到脂肪组织。一方面，在高温条件下，CORT 浓度升高，导致 INS 的大量分泌。而 INS 作为一种降糖激素具有很强的抑制脂肪分解、促进脂肪合成的作用。其可能的调节机制是 INS 和 CORT 共同作用，通过激活肝脏 X 受体 α（liver X receptor α，LXRα）或/和固醇调节元件结合蛋白（sterol regulatory element binding proteins，SREBPs），进而增加了肝脏的脂肪酸合成酶（fatty acid synthetase，*FAS*）和乙酰辅酶 A 羧化酶（acetyl-CoA carboxylase，*ACC*）2 种脂肪合成关键酶的表达水平。研究显示，单独的 INS 或 CORT 不会激活这一通路影响脂肪合成相关酶的表达，而 2 者共同作用的机制还有待进一步研究[33]。另一方面，糖皮质激素可以通过 INS 的作用，提高脂肪组织的脂蛋白脂酶（lipoprteinlipase，LPL）活性，而 LPL 是脂肪沉积过程的限速酶[34]。因此，热应激同时增加了肝脏脂肪酸的合成及其在脂肪组织中的沉积量。而冷应激情况与之相反，研究表明在低温环境下由于大量能量用于产热，因此脂肪沉积会显著降低[35]。研究显示，冷应激条件下，肉鸡可能通过提高磷酸腺苷–依赖性蛋白激酶 α（AMP-activated protein kinase α，AMPKα）蛋白的表达水平，增加脂肪的氧化，减少脂肪合成关键酶 *ACC* 的表达[36]。此外，冷应激条件下，肉鸡肌肉的肉碱棕榈酰转移酶 1 的表达水平和哺乳动物雷帕霉素靶蛋白（mammalian target of rapamycin，mTOR）磷酸化水平均升高，这被认为与脂肪酸 β 氧化水平的提高有关[37]。而相对湿度对肉鸡脂类代谢的影响还未见报道。

3. 3　环境温湿度对肉鸡蛋白质代谢的影响及调控机制

在热应激条件下，由于蛋白质代谢的改变，会造成肉鸡的生长速度和蛋白质沉积的下降。报道指出，在持续偏热（26 和 31 ℃）环境中，肉鸡的氮利用率下降，氮排出量增加[38]。

肌肉蛋白质的沉积主要受 IGF-1 的调节，IGF-1 可促进氨基酸的转运和蛋白质的合成，抑制蛋白质的分解[39]。高温应激会提高血液 CORT 浓度，而糖皮质激素能够通过抑制 IGF-1 的分泌，间接抑制骨骼肌蛋白质的合成且促进骨骼肌蛋白质的分解[40]。研究表明，在高温热应激情况下，肉鸡肝脏和胸肌 *IGF*-1 的表达水平显著降低[17]。而 IGF-1 对肌肉蛋白质代谢的调节作用是通过活化 mTOR 通路来实现的[41]。研究指出，糖皮质激素处理条件下，mTOR 通路被抑制，下游蛋白质真核细胞始动因子 4E 结合蛋白 1（4E binding protein，4EBP1）的磷酸化程度显著降低[42]。而低磷酸化的 4EBP1 可以和真核细胞翻译启动因子（eukaryotic translation initiation factor 4E，eIF4E）结合，从而抑制蛋白质表达。此外，研究显示不同的肌肉组织对高温引起的蛋白质代谢障碍反应不同，在胸肌中热应激主要抑制蛋白质的合成，而在腿肌中热应激主要增加蛋白质的分解[17]，造成这一差异的原因还有待进一步研究。而肌肉蛋白质降解生成的氨基酸被机体通过糖异生作用转化为血液葡萄糖用以补充能量[43]。在高温条件下，高湿增加机体的维持需要，使葡萄糖大量消耗[29]，可以导致骨骼肌摄取能量不足，致使肌肉蛋白质合成抑制。而有关冷应激对肉鸡蛋白质代谢影响的报道指出，低温环境显著降低肉鸡的体增重[44]，而显著提高肉鸡的血液尿酸浓度，单胃动物血液中氮的来源主要是肝脏的脱氨基作用，这说明降低的体增重与肌肉蛋白质的降解有关[45]。

3.4 环境温湿度对肉鸡矿物质代谢的影响及调控机制

矿物质不仅是动物机体的组成成分，也是平衡机体内环境的电解质、多种酶和激素活性中心的组成成分。研究表明，热应激不仅影响肉鸡肌肉的生长，同时也会降低肉鸡的骨重和骨强度，并增加肉鸡腿病的发生率，这可能与高温影响机体矿物质代谢、增加钙磷流失有关。研究表明，热应激可增加细胞膜对钙离子的通透性，从而增加钙离子内流，造成血液钙浓度降低[16]。在 31 ℃的急性热应激条件下，肉鸡血液钾离子浓度极显著升高，而钠离子浓度有下降趋势[46]。此外，热应激还可以降低锰和锌的吸收和利用[47]。而饲粮中添加锰或锌都可以提高肉鸡组织中抗氧化酶的活性[48-49]，起到缓解热应激的作用。在高温条件下，高湿可能引起呼吸散热效率降低，呼吸频率增加，二氧化碳（CO_2）呼出量增加，血液 HCO_3^-浓度降低，血液 pH 升高，造成呼吸性碱中毒。而低温环境中，肉鸡血液钙离子浓度无显著变化，而磷离子浓度显著降低，其调控机理尚不清楚[45]。此外，报道指出在高温和低温条件下，肉鸡对碘的吸收水平均增加，这可能与甲状腺机能的调节有关[50]。

chinaXiv:201711.01823v1

4 小 结

温热环境对家禽的福利、健康以及生长性能有着重要影响，更与养殖效益息息相关。肉鸡是恒温动物，在环境温度发生变化时，会通过调节产热和散热来维持体温恒定，如果温度过高或过低将引起肉鸡的应激反应。而湿度又与温度密切相关，影响不同温度条件下机体的体温调节。探索不同温热环境造成动物应激反应的机理及寻找有效的解决方案成为现代养殖业的重要课题。但温热环境对动物造成的应激反应是一个复杂的调控过程，许多方面的分子调控机制尚不完全清楚。目前的研究多集中于生长性能等表观指标的研究，并存在许多相互矛盾的结果。而生物技术的快速发展为探明其调控机制提供了可能。利用组学技术，从整体宏观角度探明不同温热环境下肉鸡营养物质代谢的调控机理将成为今后研究的重点和方向，研究成果将为缓解肉鸡应激反应、提高畜产品品质、改善动物福利提供理论基础。

参考文献：

[1] DIARRA S S,TABUACIRI P.Feeding management of poultry in high environmental temperatures[J].International Journal of Poultry Science,2014,13(11):657–661.

[2] LARA L J,ROSTAGNO M H.Impact of heat stress on poultry production[J].Animals,2013,3(2):356–369.

[3] 邱家祥,米克热木·沙衣布扎提,赵红琼.家禽冷应激研究进展[J].动物医学进展,2008,29(3):96–101.

[4] 常玉,冯京海,张敏红.环境温度、湿度等因素对家禽体温调节的影响及评估模型[J].动物营养学报,2015,27(5):1341–1347.

[5] PRINZINGER R,PREẞMAR A,SCHLEUCHER E.Body temperature in birds[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1991,99(4):499–506.

[6] 周莹,张敏红.相对湿度对家禽水蒸发散热和健康的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):353–360.

[7] COLLIN A,VAN MILGEN J,DUBOIS S,et al.Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets[J].Journal of Animal Science,2001,79(7):1849–1857.

[8] ZHAI W,PEEBLES E D,MEJIA L,et al.Effects of dietary amino acid density and metabolizable energy level on the growth and meat yield of summer-reared broilers[J].The Journal

chinaXiv:201711.01823v1

ChinaXiv合作期刊

of Applied Poultry Research,2014,23(3):501–515.

[9] SOHAIL M U,HUME M E,BYRD J A,et al.Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress[J].Poultry Science,2012,91(9):2235–2240.

[10] HABIBIAN M,GHAZI S,MOEINI M M.Effects of dietary selenium and vitamin E on growth performance,meat yield,and selenium content and lipid oxidation of breast meat of broilers reared under heat stress[J].Biological Trace Element Research,2016,169(1):142–152.

[11] 周莹,彭骞骞,张敏红,等.相对湿度对间歇性偏热环境下肉鸡体温、酸碱平衡及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3726–3735.

[12] 王长平,李剑虹,韦春波.低温环境对商品肉鸡生产性能的影响[J].中国家禽,2011,33(4):56–57.

[13] NGUYEN P,GREENE E,ISHOLA P,et al.Chronic mild cold conditioning modulates the expression of hypothalamic neuropeptide and intermediary metabolic-related genes and improves growth performances in young chicks[J].PLoS One,2015,10(11):e0142319.

[14] QUINTEIRO-FILHO W M,RODRIGUES M V,RIBEIRO A,et al.Acute heat stress impairs performance parameters and induces mild intestinal enteritis in broiler chickens:role of acute hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation[J].Journal of Animal Science,2012,90(6):1986–1994.

[15] LIN H,SUI S J,JIAO H C,et al.Impaired development of broiler chickens by stress mimicked by corticosterone exposure[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology,2006,143(3):400–405.

[16] 唐湘方.基于蛋白质组与代谢组的肉鸡热应激分子机制研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2015:3–4.

[17] ZUO J J,XU M,ABDULLAHI Y A,et al.Constant heat stress reduces skeletal muscle protein deposition in broilers[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2015,95(2):429–436.

[18] YAHAV S.Domestic fowl-strategies to confront environmental conditions[J].Avian and

chinaXiv:201711.01823v1

ChinaXiv合作期刊

Poultry Biology Reviews,2000,11(2):81–95.

[19] HANGALAPURA B N,NIEUWLAND M,BUYSE J,et al.Effect of duration of cold stress on plasma adrenal and thyroid hormone levels and immune responses in chicken lines divergently selected for antibody responses[J].Poultry Science,2004,83(10):1644–1649.

[20] QIN B,SUN W Y,XIA H Z,et al.Effects of cold stress on mRNA level of uncoupling protein 2 in liver of chicks[J].Pakistan Veterinary Journal,2014,34(3):309–313.

[21] 顾宪红,杜荣,方路.高温条件下湿度对肉仔鸡直肠温度和血浆三碘甲腺原氨酸、胰岛素水平的影响[J].中国农业科学,1999,32(1):105–107.

[22] LIU W Y,ZHAO J P.Insights into the molecular mechanism of glucose metabolism regulation under stress in chicken skeletal muscle tissues[J].Saudi Journal of Biological Sciences,2014,21(3):197–203.

[23] BRAUN E J,SWEAZEA K L.Glucose regulation in birds[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemistry and Molecular Biology,2008,151(1):1–9.

[24] SONG Z G,ZHANG X H,ZHU L X,et al.Dexamethasone alters the expression of genes related to the growth of skeletal muscle in chickens (*Gallus gallus domesticus*)[J].Journal of Molecular Endocrinology,2011,46(3):217–225.

[25] ZHAO J P,BAO J,WANG X J,et al.Altered gene and protein expression of glucose *transporter*^{1} underlies dexamethasone inhibition of insulin-stimulated glucose uptake in chicken muscles[J].Journal of Animal Science,2012,90(12):4337–4435.

[26] ZHAO J P,LIN H,JIAO H C,et al.Corticosterone suppresses insulin-and NO-stimulated muscle glucose uptake in broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*)[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part C:Toxicology & Pharmacology,2009,149(3):448–454.

[27] MÜSSIG K,FIEDLER H,STAIGER H,et al.Insulin-induced stimulation of JNK and the PI 3-kinase/mTOR pathway leads to phosphorylation of serine 318 of IRS-1 in C2C12 myotubes[J].Biochemical and Biophysical Research Communications,2005,335(3):819–825.

[28] WU S Y,FANG Z,XUE B,et al.A review of effects of heat stress on substance and energy metabolism in muscle[J].Agricultural Science & Technology,2015(5):1011–1013.

chinaXiv:201711.01823v1

ChinaXiv合作期刊

[29] YAHAV S.Relative humidity at moderate ambient temperatures:its effect on male broiler chickens and turkeys[J].British Poultry Science,2010,41(1):94–100.

[30] DADGAR S,LEE E S,CROWE T G,et al.Characteristics of cold-induced dark,firm,dry broiler chicken breast meat[J].British Poultry Science,2012,53(3):351–359.

[31] OVAIS A,AHMAD S S,AHMED D S,et al.Impact of cold stress on blood biochemical and immune status in male and female Vanaraja chickens[J].Indian Journal of Animal Research,2014,48(2):139–142.

[32] YUAN L,LIN H,JIANG K J,et al.Corticosterone administration and high-energy feed results in enhanced fat accumulation and insulin resistance in broiler chickens[J].British Poultry Science,2008,49(4):487–495.

[33] 蔡元丽.应激影响肉仔鸡脂肪沉积的分子生物学机制[D].博士学位论文.泰安:山东农业大学,2009:11–14.

[34] CAI Y L,SONG Z G,WANG X J,et al.Dexamethasone-induced hepatic lipogenesis is insulin dependent in chickens (*Gallus gallus domesticus*)[J].Stress-the International Journal on the Biology of Stress,2011,14(3):273–281.

[35] YUNIANTO V D,HAYASHIT K,KANEDA S,et al.Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler chickens[J].British Journal of Nutrition,1997,77(6):897–909.

[36] ZHANG Z W,BI M Y,YAO H D,et al.Effect of cold stress on expression of AMPKalpha-PPARalpha pathway and inflammation genes[J].Avian Diseases,2016,58(3):415–426.

[37] NGUYEN P H,GREENE E,DONOGHUE A,et al.A new insight into cold stress in poultry production[J].Advance Food Technology Nutrition Science Open Journal,2016,2(1):1–2.

[38] 王雪敏,彭骞骞,冯京海,等.不同模式偏热环境对肉鸡氮代谢与生产性能的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(3):521–528.

[39] DUPONT J,TESSERAUD S,SIMON J.Insulin signaling in chicken liver and muscle[J].General and Comparative Endocrinology,2009,163(1/2):52–57.

chinaXiv:201711.01823v1

[40] TANKSON J D,VIZZIER-THAXTON Y,THAXTON J P,et al.Stress and nutritional quality of broilers[J].Poultry Science,2001,80(9):1384–1389.

[41] TESSERAUD S,ABBAS M,DUCHENE S,et al.Mechanisms involved in the nutritional regulation of mRNA translation:features of the avian model[J].Nutrition Research Reviews,2006,19(1):104–116.

[42] SHAH O J,ANTHONY J C,KIMBALL S R,et al.Glucocorticoids oppose translational control by leucine in skeletal muscle[J].American Journal of Physiology-Endocrinology & Metabolism,2000,279(5):E1185–E1190.

[43] RHOADS R P,LA NOCE A J L,WHEELOCK J B,et al.Short communication:alterations in expression of gluconeogenic genes during heat stress and exogenous bovine somatotropin administration 1[J].Journal of Dairy Science,2011,94(4):1917–1921.

[44] YANG G L,ZHANG K Y,DING X M,et al.Effects of dietary *DL*-2-hydroxy-4 (methylthio) butanoic acid supplementation on growth performance,indices of ascites syndrome,and antioxidant capacity of broilers reared at low ambient temperature[J].International Journal of Biometeorology,2016,60(8):111931203.

[45] BLAHOVÁ J,DOBŠÍKOVÁ R,STRAKOVÁ E,et al.Effect of low environmental temperature on performance and blood system in broiler chickens (*Gallus domesticus*)[J].Acta Veterinaria Brno,2007,76(S8):17–23.

[46] 张少帅,甄龙,张敏红,等.急性偏热处理对肉仔鸡体热调节功能的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):402–409.

[47] SAHIN N,SAHIN K,ONDERCI M,et al.Effects of dietary genistein on nutrient use and mineral status in heat-stressed quails[J].Experimental Animals,2006,55(2):75–82.

[48] LI S F,LU L,HAO S F,et al.Dietary manganese modulates expression of the manganese-containing superoxide dismutase gene in chickens[J].Journal of Nutrition,2011,141(2):189–194.

[49] LIU Z H,LU L,WANG R L,et al.Effects of supplemental zinc source and level on antioxidant ability and fat metabolism-related enzymes of metab broilers[J].Poultry

chinaXiv:201711.01823v1

Science,2015,94(11):2686–2694.
[50]　王长平,杨洪升,周清波,等.低温环境饲养对商品肉鸡生化指标影响的研究进展[J].饲料工业,2016,37(2):58–60.

Effects of Ambient Temperature and Humidity on Nutrient Metabolism of Broilers and Its Regulation Mechanisms

LU Zhuang　HE Xiaofang　ZHANG Lin　LI Jiaolong　GAO Feng*　ZHOU Guanghong
(*College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University*; *Key Laboratory of Animal Origin Food Production and Safety Guarantee of Jiangsu Province*; *Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control*, *Nanjing* 210095, *China*)

Abstract：The thermal environment is an important factor affecting poultry production. Broilers are very sensitive to temperature, and humidity often cooperates with temperature to affect the body temperature regulation of broilers. This review summarized the effects of ambient temperature and humidity on the performance, neuro-endocrine functions and metabolisms of carbohydrate, lipid, protein and minerals of broilers and its regulation mechanisms, which could provide the theoretical basis for thermal environment control of broilers.

Key words: temperature; humidity; broilers; nutrient metabolism; influence; regulation mechanisms

*Corresponding author, professor, E-mail: gaofeng0629@sina.com　(责任编辑　李慧英)

chinaXiv:201711.01823v1